



Estabilización de taludes



Soil nailing



Estabilización de muros de contención



Estabilización de taludes y bulonados mediante micropilotes TITAN

temporal y permanente

Micropilotes TITAN con
homologación oficial

Estabilización de taludes y bulonados mediante micropilotes TITAN

Micropilotes TITAN, con homologación Z-34.14-209 para la aplicación en estabilización de taludes y bulonados según la normativa UNE EN 14490.

El reto

Los terraplenes o taludes, por diversos motivos, pueden perder su estabilidad o quedar del lado de la inseguridad bajo criterios de estabilidad en estados límite. Entre otras razones pueden contarse las siguientes:

- Acciones agresivas sobre el soporte del talud
- Procesos de erosión
- Desplazamiento de material
- Sobrecargas adicionales
- Cambios en los criterios de diseño
- Influencias hidrológicas

Medidas correctoras

Los elementos **constructivos de soporte** más habituales resisten el empuje del terreno por su peso propio, el empotramiento de su base o bien a través de anclajes profundos en el terreno. Para este tipo de anclajes se pueden usar micropilotes TITAN, según la normativa UNE EN 14199, como pilotes trabajando a tracción (consultar el catálogo de anclajes). En cambio, el **bulonado mediante micropilotes TITAN** tiene el propósito de activar el propio suelo y mejorar su capacidad a tracción y corte mediante la introducción de armado en su ladera. El cuerpo mixto resultante mantiene e incluso mejora la estabilidad del talud.

Micropilote TITAN - un bulón como armadura

Según la homologación oficial Z-34.14-209 queda justificado el uso del micropilote TITAN como armadura/elemento portante de acuerdo con la norma DIN 4084*, al poder adaptar el modelo de cálculo a la tipología “bulón” (en suelos).

*Cálculo de inestabilidad de taludes en suelos y estabilidad global en estructuras de contención.

- Una ventaja determinante del bulonado frente a sistemas de contención convencionales es que no es necesaria la excavación de suelo en el intradós de un muro. Asimismo, no son necesarios elementos de entibación (muros de pilotes o de tablestacas) previos a la excavación.
- La aplicación principal del bulonado se encuentra en la estabilización de laderas en desmonte, taludes o terraplenes con riesgo de deslizamiento y en el saneamiento y refuerzo de muros de contención.
- En el caso de paredes de excavación, los bulones suelen complementarse con la aplicación de una capa de hormigón gunitado.

Revestimiento

Junto al cuerpo mixto formado por el suelo y el armado (bulones), normalmente es necesario añadir un revestimiento a la ladera para completar el sistema de bulonado según la normativa UNE EN 14490. Dicho revestimiento debe diseñarse en base a las cargas, el comportamiento del terreno, la pendiente y consideraciones estéticas. Debe distinguirse entre **revestimiento rígido, flexible, blando y sistemas sin revestimiento**.

- **El revestimiento rígido** está firmemente conectado a los bulones y debe ser capaz de sostener junto a éstos el talud, manteniendo su estabilidad. Frecuentemente está hecho de hormigón (gunitado, in situ o prefabricado).
- **El revestimiento flexible sostiene** el terreno entre elementos de armado y sirve como protección frente a la erosión. Frecuentemente se trata de mallas de metal o plástico.
- **El revestimiento blando** se usa en general como protección frente a la erosión o agrietamiento de la superficie. Las barras sirven en este caso solamente como fijación del revestimiento pero no estabilizan el talud.
- **En general se prescinde del revestimiento** en taludes muy tendidos (por ejemplo junto a vías férreas o cursos fluviales), siempre que los bulones por sí mismos faciliten la estabilidad del talud y se eviten daños en la vegetación.

Revestimiento rígido

Revestimiento de hormigón gunitado fijado con micropilotes y capa de hormigón in situ.



Estabilización de talud sin revestimiento

Tramo ferroviario Oldenburg-Wilhelmshaven (Alemania)





La disposición de armado de la cabeza del pilote es versátil y aplicable con generalidad para una conexión óptima con el revestimiento

Tubo de transición (HD-PE)
(sólo con revestimiento rígido; para una transición protegida frente a la corrosión en estructuras permanentes)

Elemento portante de acero con función 3 en 1
barra de perforación - tubo de inyección - armadura

Bulbo de lechada de cemento
- transmisión de carga de la barra de acero al suelo circundante
- protección efectiva y duradera frente a la corrosión

Manguito de empalme con tope central
- capaz de soportar cargas cíclicas y dinámicas
- proporciona una transmisión óptima de la energía de impacto
- mantiene sellado hasta 240 bar

Centrador
garantiza el mantenimiento del espesor requerido del recubrimiento de cemento

Boca de perforación según el terreno
Hay adaptadores disponibles si resulta necesario combinar diámetros diferentes

Ventajas de diseño

- Sistema homologado (Alemania)
- Versátil y aplicable en las condiciones más diversas
- Aplicable aun con los requerimientos de protección más estrictos
- Válido para todo tipo de suelos

Ventajas de ejecución

- Procedimiento único independiente de la aplicación
- Aplicable incluso en espacios de obra muy confinados o ubicaciones de perforación difícilmente accesibles
- Gran velocidad de ejecución
- Independiente de cambios en el tipo de suelo

Ventajas para el promotor

- Sin costes diferidos debidos a ensayos de control
- Protección permanente frente a la corrosión
- Gran fiabilidad
- Afección menor al entorno
- Sistema económico

Ventajas del sistema: Temporal o permanente sin protección adicional



La calidad del acero

El acero de grano fino S 460 NH utilizado en los micropilotes/ bulones ISCHEBECK satisface los requerimientos sobre tubos metálicos con aplicación como armado para bulonados según la normativa UNE EN 14490.

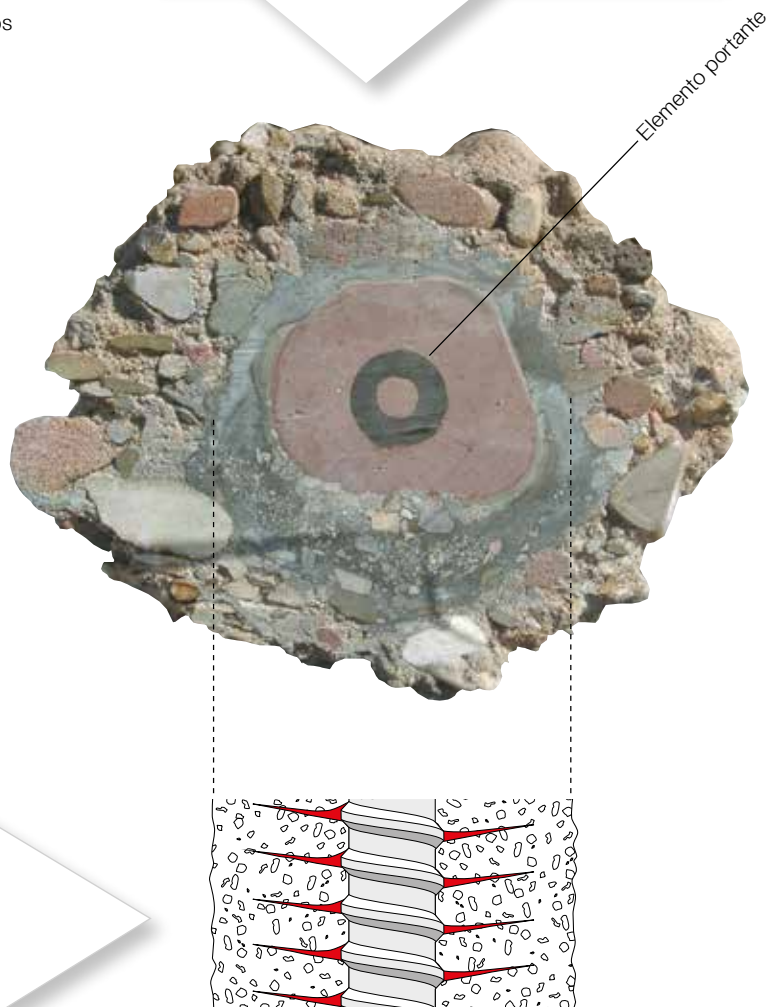
- Resistencia a tracción $f_{yk} < 600 \text{ N/mm}^2$ para compatibilizar deformaciones entre la barra de carga y el cuerpo de inyección
- Deformación porcentual bajo carga máxima (ductilidad): $A_{gt} > 5\%$
- Cumple con la normativa UNE EN 10210 (perfiles huecos laminados en caliente, de aceros no aleados de grano fino)
- Ensayo de resiliencia (tenacidad): $Kv \geq 40 \text{ J}$ (a -20° C)

La rosca - propiedades óptimas de adherencia

Con la rosca TITAN (corrugas de acero pasivo según la norma DIN 488 o UNE EN 10080) se comprobaron para la homologación aperturas de fisura en el cuerpo de inyección $< 0,1 \text{ mm}$. Según dicha homologación, no es necesario adoptar medidas adicionales de protección frente a la corrosión aparte del espesor mínimo de la lechada de revestimiento.

Aplicación permanente

Para proyectos de construcción con una vida útil > 2 años, la protección permanente frente a la corrosión se consigue gracias al confinamiento efectivo en lechada de cemento. En el marco de nuestra homologación, se han comprobado los requerimientos de anchura de fisura $< 0,1 \text{ mm}$ provenientes del DIBt (Instituto Alemán de la Construcción).



Aplicación permanente

Para armaduras metálicas, la norma UNE EN 14490 propone varias posibilidades de protección frente a la corrosión. Los dos únicos sistemas de protección aprobados por la homologación son:

1. **Confinamiento mediante lechada de cemento** (siempre que no se supere una apertura de fisura de $0,1 \text{ mm}$)
2. Instalación de un revestimiento corrugado en combinación con lechada inyectada de cemento

Los sistemas cuya durabilidad está basada en una corrosión admisible en la longitud de transferencia de la barra **no** están permitidos en Alemania.

El recubrimiento necesario de la lechada de revestimiento está dado en la homologación en función del nivel de carga.

Aperturas de fisura $s < 0,1 \text{ mm}$ comprobadas en estado de agotamiento del acero

Protección adicional frente a la corrosión

En condiciones especiales, con suelos muy agresivos, fracturados o con muchas cavidades, o bien con segmentos de barra al descubierto (en especial la cabeza), pueden disponerse sistemas adicionales de protección frente a la corrosión:



Galvanizado en caliente
según la norma UNE EN ISO 1461

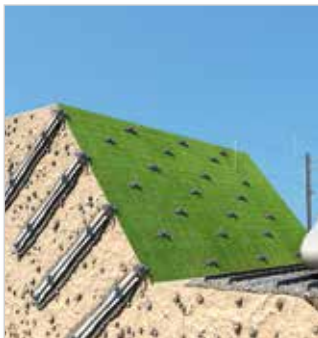


Protección DUPLEX
Galvanizado en caliente + pulverización + pulverización epoxi según norma DIN 55633



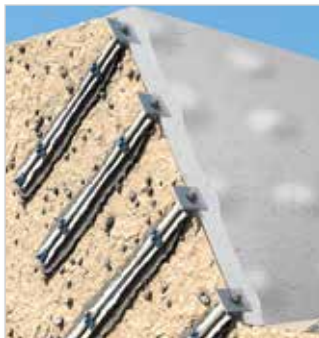
Acero inoxidable INOX
Acero inoxidable (número estándar 1.4462)

Los campos de aplicación del “soil nailing” (bulonado) según la norma UNE EN 14490 incluyen estabilización de taludes, terraplenes, presas, desmontes, secciones de túnel y el refuerzo de muros de contención.



Estabilización de taludes

- Presas
- Desmontes
- Terraplenes
- Protección frente a erosión
- Mallas de revestimiento
- Protección frente a avalanchas



Estabilización con hormigón gunitado

- Excavaciones
- Muros de contención
- Emboquilles de túneles
- Secciones de túnel
- Estabilizaciones de emergencia



Estabilización y saneamiento de muros

- Muros de contención
- Muros de mampostería
- Muros de hormigón
- Muros modulares



Drenaje profundo DRILL DRAIN®

Aplicación especial complementaria especialmente para el drenaje de subsuelo según la norma UNE EN 14490, en taludes y en el trasdós de elementos de contención.

Ventajas de ejecución

La ejecución puede llevarse fácilmente a cabo mediante la fijación de pequeños y versátiles mástiles de perforación a todo tipo de máquinas, haciendo accesible casi todo punto de perforación. Si el espacio de trabajo no permite el acceso de ninguna máquina, es posible trabajar con perforadoras manuales, sujetas a andamios o trípodes.

La ejecución se desarrolla con un nivel bajo de vibraciones y ruidos, lo que es beneficioso especialmente en entornos urbanos densos o en pendientes con peligro de desprendimiento.



Estabilización de taludes con mallas

Ejemplos de aplicación

En el futuro habrá menor volumen de obra nueva, mientras que crecerá el volumen de obras sobre trabajos preexistentes o la estabilización y saneamiento de obras ya construidas. Es por esto que se hacen necesarias técnicas y sistemas versátiles y de tamaño reducido, para así minimizar el impacto sobre el entorno.



Estabilización de taludes con mallas

Talud sobre la línea férrea Garmisch-Múnich, cerca de Wofratshausen (Alemania)

Una máquina - diversas funciones

Previo a la instalación de los elementos estabilizadores, es necesario desbrozar el talud, despejándolo de vegetación. Además, deben instalarse bermas y drenajes.

Para este tipo de trabajos se recurre en general a excavadoras de ruedas, a las que se les puede acoplar el mástil de perforación para que perforen directamente sobre el talud e instalen las barras TITAN. También existe la alternativa de usar unidades ligeras de perforación manuales.



Fijación del revestimiento

Tras la instalación de las barras TITAN se procede a la fijación del revestimiento, generalmente mallas de alambre de alta resistencia (por ejemplo, de Geobrugg, Trumer, Maccaferri, Krismer, etc), fijadas al talud mediante tuercas esféricas TITAN y las placas de apoyo que correspondan según el fabricante. Todas las piezas metálicas que vayan a quedar expuestas, en especial el segmento de barra que sobresale del terreno, deben galvanizarse en caliente para estar protegidas frente a la corrosión.



Ejemplos de placas de garra de los fabricantes de malla, con tuercas esféricas TITAN galvanizadas.



Placa de garra TITAN galvanizada como fijación de una malla simple hexagonal.



Fijación de la malla con retro-ancilaje en un talud simple

Línea férrea Núremberg-Hof cerca de Röslau. Por motivo de desprendimiento de rocas, hubo que estabilizar la línea sin interrumpir su funcionamiento.



Colocación de la malla de alambre de alta resistencia

Para cada aplicación, la máquina apropiada

Dependiendo de la ubicación de los puntos de perforación y de las condiciones de contorno locales, puede recurrirse a maquinaria muy diversa. Para reducir los tiempos de ejecución y las posibles interrupciones de servicios, es posible combinar al mismo tiempo diferentes tipos de maquinaria en espacios de obra muy reducidos.

Pie del talud

Instalación con una miniexcavadora y mástil de perforación, operando junto a la vía. Sólo se requiere suspender el servicio de una de las vías.



Talud medio

Instalación mediante excavadora de largo alcance con mástil de perforación acoplado, desde la plataforma de coronación para no sobrecargar el talud.



Talud superior

Retro-ancilaje mediante excavadora de ruedas con mástil de perforación acoplado, apoyada en el talud.



Eficiente disposición en obra

Para un desarrollo de los trabajos ágil y económico, debe planearse la disposición de materiales en la obra de acuerdo a las condiciones de contorno.



Soil nailing

Estabilizaciones mediante hormigón proyectado con micropilotes

Estabilización permanente de excavaciones - Hasta 9 m de altura de pared de excavación, con hormigón proyectado y retro- anclajes para la construcción del centro budista Gut Hochreute en Immenstadt, Allgäu (Alemania).



Un sistema de perforación para todos los estratos de suelo

El sistema de perforación permanece idéntico aunque el tipo de suelo cambie con la profundidad de excavación. Únicamente puede ser necesario adaptar la boca de perforación y la proporción agua-cemento de la lechada de inyección.

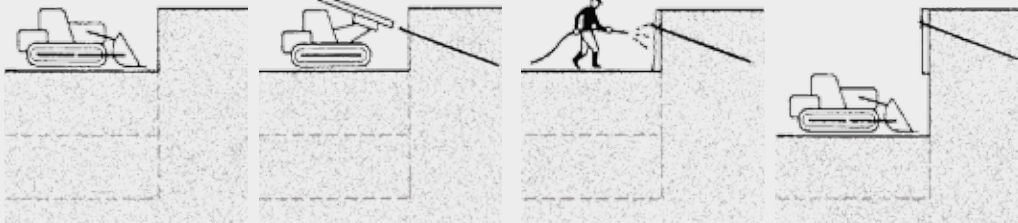


Alineación exacta del mástil de perforación en el punto de entrada.



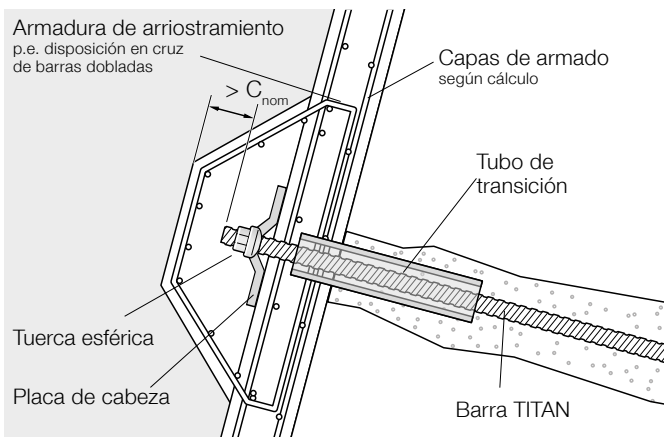
Evolución por etapas de excavación y estabilización, dependiente de la estabilidad de la pared de suelo excavado (en general cada 1 - 2 m). La excavación puede proseguir una vez que el retro- anclaje se haya completado y el hormigón proyectado haya fraguado.

1. Excavación por fases
2. Instalación de las barras TITAN
3. Hormigón proyectado y armado
4. Avance a la fase siguiente



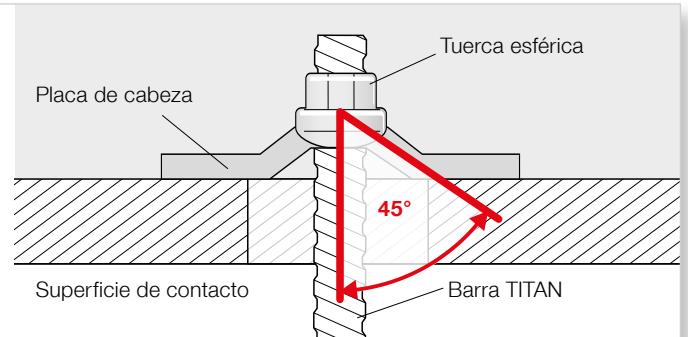
En el caso de **estabilizaciones permanentes** mediante hormigón proyectado, generalmente se disponen dos capas de armado. La placa de cabeza puede situarse por tanto entre dichos mallazos o sobre ellos. En cualquier caso, debe realizarse una comprobación a punzonamiento según la norma UNE EN 1992-1(EC 2), lo que puede llevar a disponer armadura adicional de arriostramiento dependiendo de la tensión bajo la cabeza de anclaje.

Para una protección duradera frente a la corrosión o para evitar daños durante la excavación posterior, es frecuente cubrir la cabeza del bulón con una capa adicional de hormigón armado proyectado.



Saliente de la placa para una transmisión óptima de carga

Ensayos de carga han demostrado que gracias al saliente central de 45° en la placa de cabeza tiene lugar una transmisión óptima de carga, y además las deformaciones bajo cargas de servicio quedan minimizadas. Así, puede reducirse el espesor de placa para un mismo nivel de flexión.



Ajuste de la inclinación



La placa de cabeza TITAN puede compensar desviaciones de inclinación con respecto al estribo de aprox. 5°.



Para diferencias de inclinación entre bulón y talud de hasta $\pm 36^\circ$ puede usarse el disco de compensación **autocentrado TITAN** (a la derecha con placa de garra).



Otro método de compensación usual en obra es la inserción de una cuña de mortero bajo la placa de cabeza.

Estabilización y reparación de muros de contención

Reparación de muro de mampostería sobre un cauce en la Spitzingseestrasse, Bayern (Alemania).

Debido al aumento de sobrecargas de tráfico, así como a la erosión y la socavación, se hizo necesario reparar la estructura al completo. Los retro-ancclajes, en parte usados también como arriostramiento horizontal, se ejecutaron con barras Duplex (galvanizado en caliente + pulverización epoxi) por consideraciones de corrosión, ya que las oquedades esperables en el trasdós del puente no permitían garantizar un cuerpo de inyección continuo.



Con el **método ISCHEBECK** se perfora directamente con las barras TITAN, con una boca de perforación que queda perdida, y la estabilización del orificio de perforación se consigue gracias a la inyección de la lechada de cemento.

No hay necesidad de maniobrar con entubación, lo que facilita el uso de maquinaria más ligera.



La instalación de las barras TITAN puede realizarse con excavadora+mástil de perforación, desde el pie del talud o sobre la plataforma de coronación.



El mástil de perforación puede montarse sobre plataformas elevadoras en caso de que la ubicación de los puntos de perforación sea de difícil acceso.



Inicialmente se estabilizó el muro atando las barras TITAN mediante vigas de reparto para distribuir la carga. La compensación de inclinaciones se puede conseguir mediante la placa de cabeza y el disco compensador TITAN.



Una segunda placa de cabeza, sujeta mediante dos tuercas esféricas, puede quedar integrada entre las capas de armado.



Finalmente, el muro quedó solidariamente unido y anclado mediante las barras TITAN al revestimiento de hormigón in situ.



Estabilización de un desnivel en el terreno mediante muros de gaviones anclados.



Bulonado de un muro de contención existente

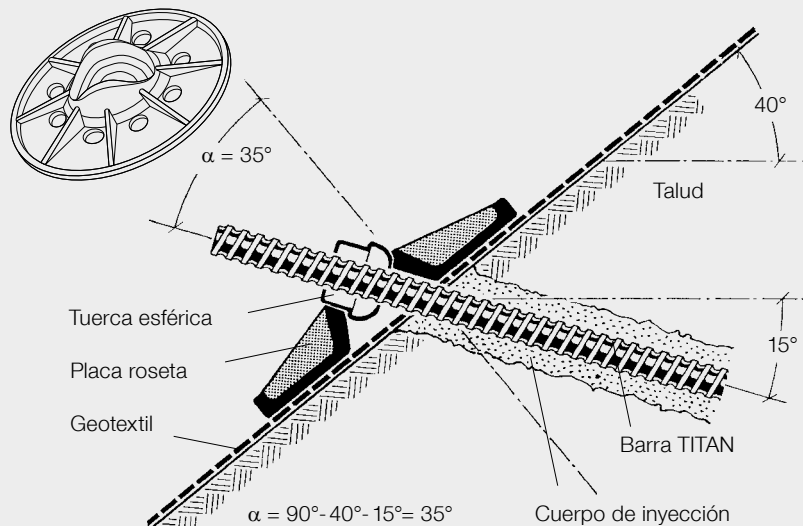
Instalación desde el margen del río. Para el armado de la capa de hormigón proyectado no se recurrió a malla metálica en este caso, sino a un geotextil en forma de malla.



Placa grande de distribución de carga

Cuando se instalan geotextiles o en el caso de muros de mampostería es conveniente el uso de la placa roseta TITAN:

- **Bordes redondeados** = reducen considerablemente el riesgo de daño sobre los geotextiles o láminas
- **Diámetro 285 mm** = baja presión en cabeza (ideal p.e. para muros de poco espesor)
- **Disco de compensación integrado** = para compensaciones de inclinación entre el eje de la barra y el estribo de hasta 36° en cualquier dirección
- **Galvanizado** = protección permanente frente a la corrosión



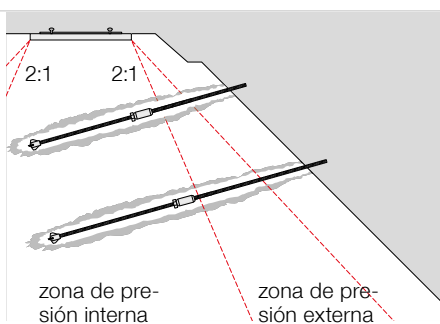
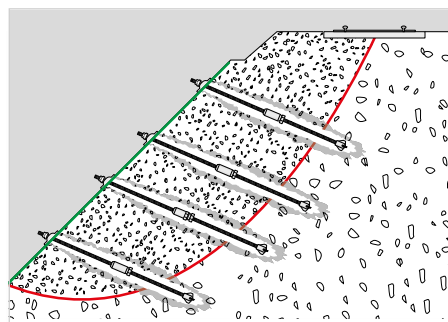
Estabilización de terraplenes ferroviarios

Los terraplenes ferroviarios tienen frecuentemente una antigüedad superior a 100 años. Es difícil o imposible saber en estos casos hasta qué punto se hicieron comprobaciones de seguridad, o conocer los criterios seguidos para la elección de los materiales y sus propiedades.

Debido a los efectos meteorológicos y al lavado de finos, además de al hecho de que el nivel de uso de las vías, las cargas y la velocidad de circulación han aumentado con el tiempo, muchos terraplenes ferroviarios no cumplen con los criterios de seguridad

actuales, por lo que necesitan reparaciones permanentes y estabilizaciones. Además de los previsibles problemas de estabilidad, con el paso del tiempo también pueden aparecer problemas de ablandamiento en el talud. Éstos afectan a su vez al comportamiento del talud frente a vibraciones, lo que puede tener consecuencias negativas en la resistencia al agotamiento de las vías férreas y las ruedas. Para la aplicación de las medidas estabilizadoras, en general para vías en funcionamiento y con el objetivo de minimizar las interrupciones de servicio, las barras TITAN

se perforan hasta llegar a los estratos competentes del terraplén. En terraplenes elevados, puede incluso llegarse hasta el sustrato natural del terreno.



Estabilización del terraplén ferroviario

- debido a posibles desprendimientos/deformaciones del talud
- la carga se transmite al terreno por detrás de la superficie de deslizamiento
- en general se acompaña de un revestimiento flexible en forma de malla de alambre

Bulonado del terraplén

- para la estabilización del terraplén, reduciendo así los asentamientos y las vibraciones en la región de las vías
- si no hay problemas de erosión, la ejecución se completa sin detalles en cabeza

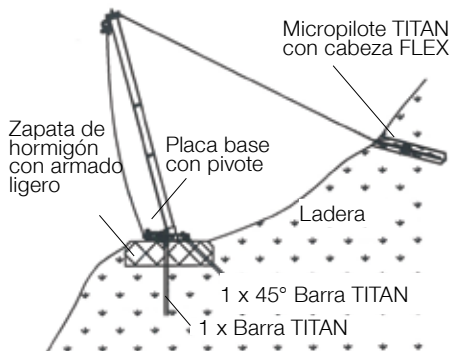
Pueden disponerse rejillas o geomallas como protección adicional frente a la erosión, que se fijan en cabeza mediante placa y tuerca esférica. En cambio, si se trata únicamente de un bulonado del terraplén las cargas se transmiten al suelo por adherencia y puede por tanto prescindirse de la construcción en cabeza.



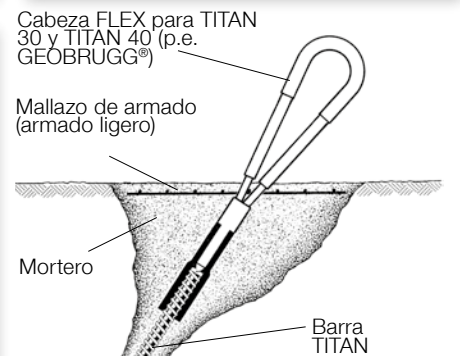
Dado que la vegetación acumulada sobre la ladera está usualmente protegida y que el talud suele ser sensible a sobrecargas adicionales, en general los trabajos de estabilización se llevan a cabo desde el pie del terraplén o desde la coronación.

Además de la estabilización de taludes y la protección frente a la erosión con mallas ancladas, es necesario proteger calzadas, vías férreas o edificaciones al pie de taludes mediante redes de contención para evitar daños por desprendimiento de rocas o aludes. Estos elementos deben dimensionarse en función de la energía potencial de las rocas desprendidas y de la masa de tierra.

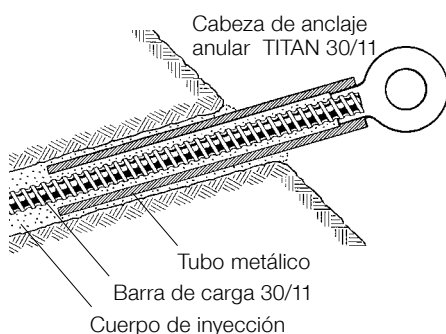
La placa base con pivote debe anclarse para evitar el vuelco, lo que en general se logra con un sistema en caballete de dos micropilotes cargados axialmente.



Además, las vallas se deben pretensar en paralelo y perpendicularmente mediante cables. Para evitar que se transmitan cortantes al micropilote se recurre a un gancho de cable flexible (cabeza FLEX, fuera del catálogo de productos ISCHEBECK) que puede atornillarse al micropilote TITAN.



Alternativamente también es posible utilizar tuercas de cabeza o conectores de ojal. Además incluyendo un tubo metálico rígido en cabeza, la barra queda reforzada a cortante.



Sistema de protección frente a impacto consistente en barras de carga TITAN con cabezas de anclaje anulares y malla hexagonal tensada



Drenaje de taludes

En taludes, terraplenes y construcciones de contención el agua freática puede tener una influencia negativa en la estabilidad así como en el comportamiento a deslizamiento y deformacional. Además del drenaje superficial y frontal, lo que suele realizarse mediante canales, zanjaz, cunetas o geotextiles, puede ser necesario un drenaje profundo adicional según la norma UNE EN 14490. Éste permite captar y canalizar el agua freática desde zonas alejadas del trasdós, a través de la zona de transmisión de carga del anclaje.

Una opción económica para este fin resulta de la perforación directa de drenajes con barras de carga TITAN 40/27, inyectadas con el material filtrante especial DRILL DRAIN®, que tras el fraguado es permeable al agua y al aire ($k_f \sim 10^{-4}$ m/s).

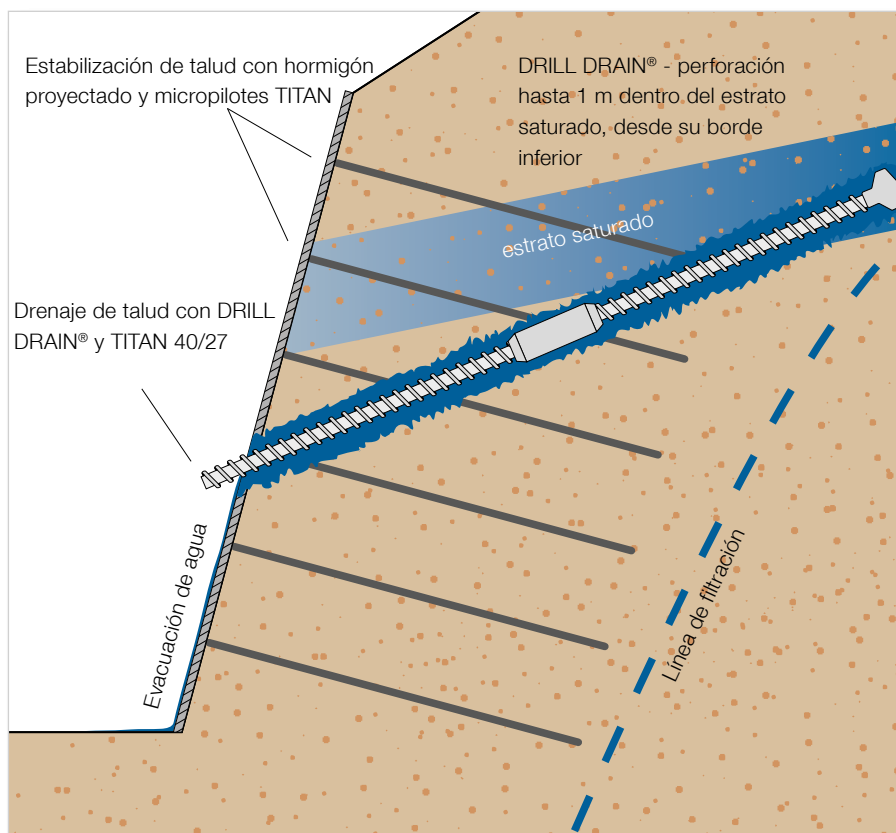
El agua freática confinada así como las sobrepresiones de agua capilar son aliviadas a través del material filtrante DRILL DRAIN® y evacuadas al exterior sin presión. El terreno se descarga, las cargas sobre el sistema de contención se reducen y por tanto también las deformaciones.

El sistema es:

- autoperforante
- insensible a incrustaciones y a la colmatación por finos
- estable frente al desplome de las paredes de perforación, dado que el orificio queda completamente inyectado
- la barra de carga sirve como armado del material filtrante DRILL DRAIN®

Para mayor detalle, consulte el catálogo de DRILL DRAIN®.

Por favor, contáctenos durante la fase de diseño para poder planificar adecuadamente las opciones de ejecución y las limitaciones de puesta en obra.



Muro de bulones con DRILL DRAIN®

Tirol, Kappl

Desarrollo de la evacuación de agua del talud. Puede verse claramente cómo los drenajes se activan a diferentes alturas.

Figura: Poco después de la instalación y 6 años después

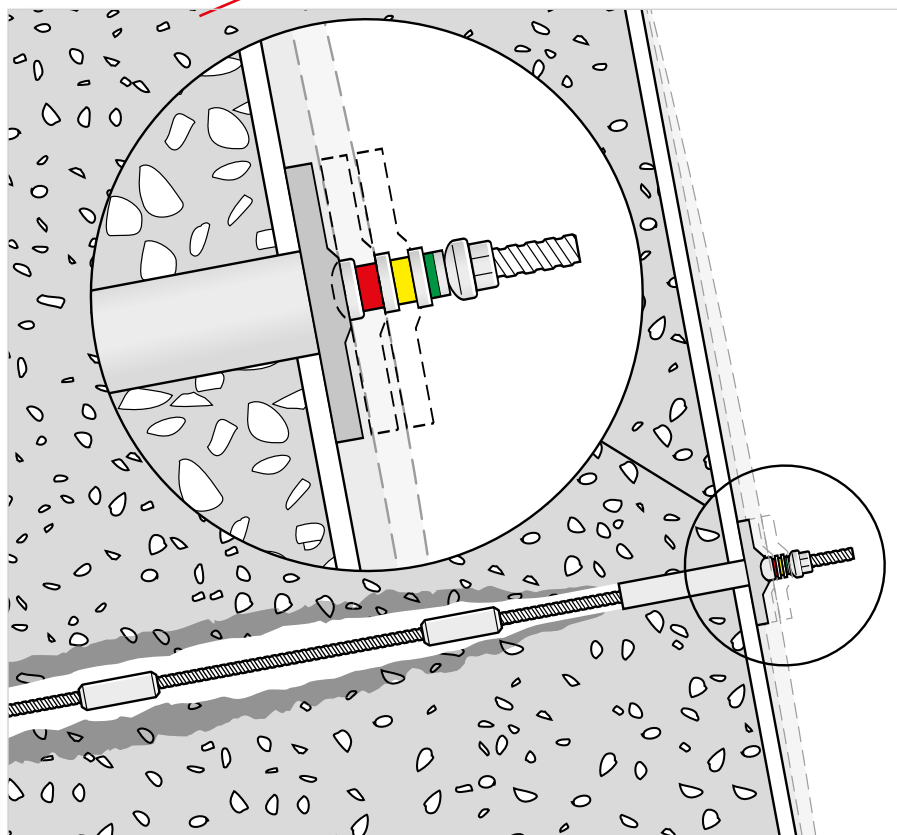


Reconocimiento rápido de incrementos de carga

Homologación LOBA*
18.24.6-28-4
*Inspección de Minería Renania
del Norte-Westfalia

ISCHEBECK
TITAN

- Para reconocer prematuramente posibles incrementos de carga y las deformaciones asociadas, se aplica el **indicador de carga (LSI, Load stage indicator)**. Éste permite visualizar fácilmente incrementos de carga en 3 fases sin necesidad de recurrir a costosas mediciones geodésicas.
- Tres fases de carga
70 kN - 160 kN - 180 kN (TITAN 30/11)
200 kN - 300 kN - 400 kN (TITAN 40/16)
- Deformación hasta 30 mm
- Control visual en todo momento
- Homologación LOBA 18.24.6-28-4



Estabilización de muro

Damüls, Austria



Sencillo control visual de las deformaciones sin mediciones geodésicas.

Principios de diseño

Estabilizaciones y bulonados:

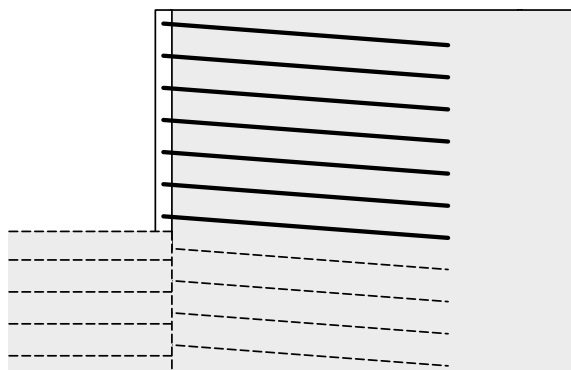
Categoría geotécnica (CG) según la norma UNE EN 1997-1, EC-7:

CG 1 Altura de talud en general hasta 10 m

CG 2 Altura mayor de 10 m

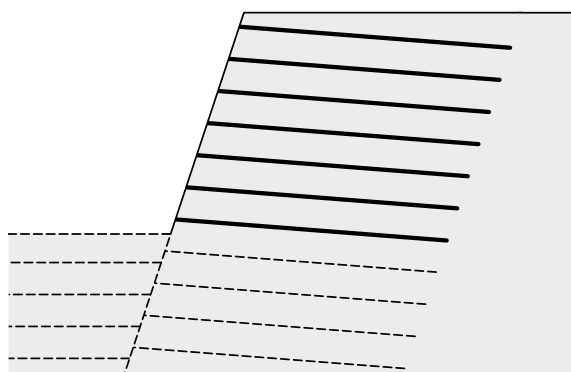
- suelos sujetos a grandes deformaciones
- inclusión de acciones sísmicas
- contigüidad de construcciones sensibles a desplazamientos y asentamientos

En el contexto de bulonados, debe distinguirse entre **muros** y **terraplenes**.



Muros

En muros, el talud resultante de excavaciones escalonadas es muy empinado (ángulo de inclinación 70° a 90°). Las armaduras quedan atadas por la capa de revestimiento exterior, en general de hormigón proyectado. El diseño de estas variantes de ejecución masivas se basa en la hipótesis de que en la región del trasdós definida por las puntas de las barras de carga se moviliza el empuje activo del terreno.



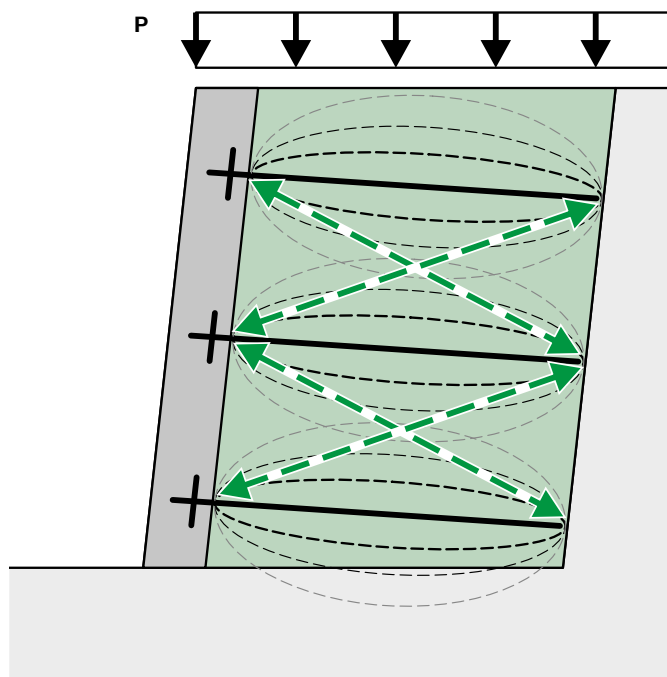
Terraplenes

Los terraplenes tienen pendientes más tendidas, de tal modo que el empuje del terreno es menos relevante. Se trata en realidad de una situación en la que la resistencia a cortante del suelo es más determinante. Dependiendo de las características del suelo y de las cargas exteriores, el revestimiento exterior queda mucho menos solicitado, lo que permite recurrir a soluciones más ligeras o flexibles, por ejemplo mallas. Según el caso, se recomienda disponer los bulones al tresbolillo para reducir el riesgo de aparición de líneas de erosión.

No hay aún un criterio normativo único de diseño y cálculo de bulonados/soil nailing. Los principios de diseño pueden pues tomarse de la norma UNE EN 1997-1, EC-7, (diseño geotécnico) o bien de la norma DIN 4084 (cálculo a hundimiento/fallo del terreno). Los bulones se disponen de acuerdo a la norma UNE EN 14490.

En todos los casos de cálculo de bulonados (muros o taludes) debe comprobarse la estabilidad interna y la externa.

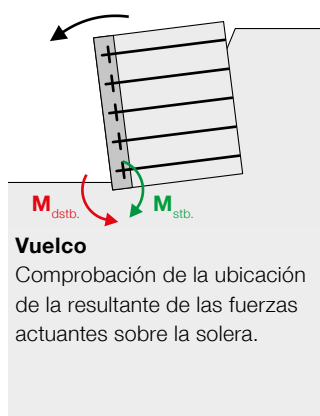
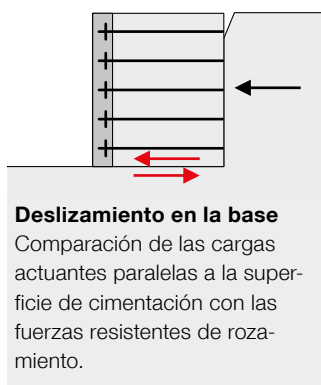
Según el Manual de Geotecnia y Cimientos*, los sistemas de bulones exhiben una respuesta monolítica frente a cargas exteriores debido a la adherencia con el terreno, siempre que los bulones estén dispuestos con una densidad suficiente. Estáticamente, esto es equivalente a una celosía interna en la que los bulones/micropilotes absorben las tracciones mientras que en el terreno se forman diagonales de compresión.



Para la comprobación de estabilidad de muros y terraplenes deben tenerse en cuenta los mecanismos de rotura posiblemente dominantes, así como las superficies de deslizamiento. También deben considerarse la tipología de obra, el perfil del terreno, el nivel freático y el nivel y posición de las cargas. Las superficies de deslizamiento pueden atravesar todos o parte de los bulones, o rodearlos.

La estabilidad externa se refiere al comportamiento de todo el cuerpo monolítico en su interacción con el cimiento y las cargas actuantes. Deben comprobarse los siguientes mecanismos de rotura según la norma UNE EN 1997-1, EC-7, lo que suele hacerse con técnicas computacionales:

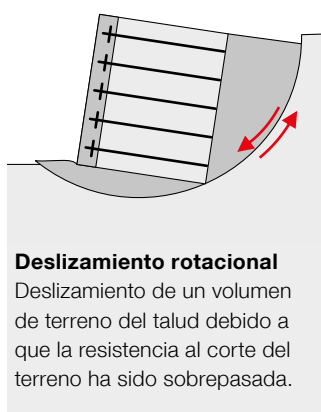
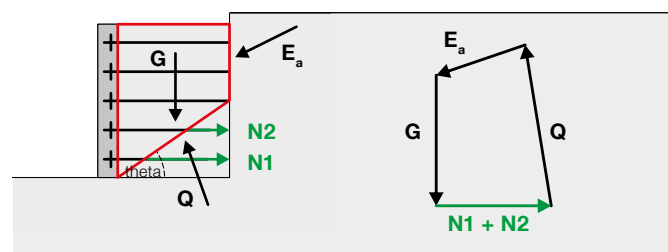
- Deslizamiento en la base
- Vuelco
- Hundimiento
- Deslizamiento



Para la comprobación de la estabilidad interna se llevarán a cabo consideraciones de equilibrio de los posibles volúmenes de deslizamiento en función del ángulo de deslizamiento (θ), lo que proporcionará las fuerzas en los bulones que deben resistirse. Para las barras a tracción deben hacerse comprobaciones frente al fallo del material (verificación de componente según la homologación Z-34.14-209 micropilotes TITAN) y al arranque fuera del volumen de deslizamiento.

Coefficientes de seguridad (γ_a) para la resistencia al arranque de bulones según la norma DIN 1054:2010 Tabla A 2.3:

BS-P	BS-T	BS-A
1,40	1,30	1,20



Simplificaciones para muros de bulones con revestimiento rígido

Dependiendo de la resistencia del terreno, el espaciamiento en la distribución de los bulones en dirección vertical y horizontal suele ser de 0,7 hasta 2,0 m. El orden de magnitud de la longitud de los bulones suele ser de 0,5 - 0,7 veces la altura de talud, en función del tipo de suelo. (En el caso de taludes en riesgo de deslizamiento, la longitud requerida de bulones puede ser significativamente mayor. Es recomendable regular la longitud de bulones por capas en taludes de gran altura.)

Comprobación en servicio (según norma DIN 1054:2010 Apdo. 11.6)

En el caso de suelos no cohesivos de al menos densidad media y de suelos cohesivos rígidos, los coeficientes de seguridad de la situación de diseño BS-P de GEO-3 mantienen en general un margen de seguridad suficiente también en estados límite de servicio.

Se puede establecer que las deformaciones en muros de bulones son relativamente pequeñas debido a la acción mixta movilizadora por adherencia, lo que, según el Manual de Geotecnia y Cimientos, las limita a un orden de magnitud de sólo 1-3 por mil de la altura de talud. Los muros de bulones, por tanto, pertenecen a la categoría de estructuras intraslacionales.

Desde el punto de vista de la mecánica de suelos es conveniente recurrir a un mayor número de barras de carga de menor capacidad, ya que una mayor densidad de bulones aumenta el efecto de la adherencia.

Pruebas de carga

Pruebas de carga estáticas según la norma UNE EN 14490, junto a la norma UNE EN 1537 para anclajes o UNE EN 14199 para micropilotes.

Las especificaciones de proyecto deben establecer si deben llevarse a cabo pruebas de carga in situ sobre bulones de sacrificio (previo a la obra) o sobre bulones estructurales (durante la obra). Asimismo deben definirse claramente el proceso de carga, el nivel de carga y los criterios de la prueba.



En la prueba sobre bulones de sacrificio debe comprobarse si la construcción elegida es factible en el terreno dado. Además debe determinarse o comprobarse la capacidad última de las barras en el terreno y en las diferentes zonas de transmisión de carga. Los bulones se cargarán hasta la rotura o bien hasta el nivel de carga resultante de afectar la carga de diseño con el coeficiente de seguridad γ_a para la resistencia al arranque de bulones según norma UNE EN 1997-1 (o DIN 1054), en función de la situación de diseño ($P_p = F_d \cdot \gamma_a$). En la práctica habitual, sin embargo, las pruebas sobre bulones de sacrificio son excepcionales y en general se prefiere llevar a cabo las pruebas de carga sobre bulones estructurales.

Deben seguirse las siguientes consideraciones en las pruebas sobre bulones estructurales:



- | | |
|--------------------------|---|
| Número de pruebas: | CG 2 2 %, mínimo $n = 3$
CG 3 3 %, mínimo $n = 5$ |
| Nivel de carga: | $F_d \leq P_p \leq \gamma_a \cdot F_d$ ($P_p \leq 0,9 \cdot R_{M,k}$) |
| Longitud de prueba: | Segmento de barra fuera de la superficie de deslizamiento dentro la masa inmóvil de suelo |
| Desarrollo de la prueba: | mín. 5 fases de carga, en general en un ciclo |
| Criterio de la prueba: | coeficiente de fluencia $k_s \leq 2,0$ mm tras al menos 15 minutos a carga constante |

Es imperativo asegurar que no haya transferencia de carga entre el bulón y el revestimiento exterior.

Micropilote/bulón en gunitados o estabilización de taludes, a tracción, TITAN 30/11, permanente

Micropilote según norma UNE-EN 14199/homologación Z-34.14-209 para bulón en gunitados o estabilización de taludes, solicitado a tracción, carga de diseño $R_d = 183 \text{ kN}$, elemento portante de acero en forma de barra hueca con diámetro exterior 30 mm e interior 11 mm, con rosca continua según DIN 488, acero según UNE-EN 10210 S 460 NH, ISCHEBECK TITAN 30/11. Aplicación permanente (más de 2 años), protección a corrosión mediante recubrimiento mín. 30 mm de lechada de cemento. Tipo de subsuelo según informe geotécnico. Diámetro del cuerpo de inyección 90 mm, con separadores a distancia máx. 3 m. Disposición en cabeza, incluso tubo de transición PE-HD según homologación, según detalles en planos.

Longitud en m

Inclinación respecto a la vertical en grados

Ejecución a roto-percusión sin entubación, lechada de estabilización de la perforación y limpieza con $A/C = 0,4$ a $0,7$, inyección dinámica desde frente de perforación con lechada $A/C = 0,4$ a $0,5$, con cemento Portland según UNE-EN 197-1 en función de la clase de exposición, incluso elaboración de un parte de registro de la ejecución para cada micropilote según UNE-EN 14199.

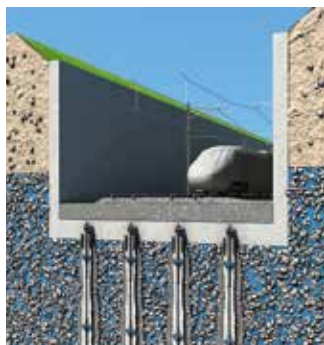
Requerimiento adicional de cemento en kg/m: ...

En algunos casos pueden ser necesarias especificaciones adicionales respecto a:

- tipo de cemento y cuantía adicional
- limitaciones en el espacio de trabajo
- accesibilidad y ubicación de los puntos de perforación
- paradero de las suspensiones de perforación e inyección
- requerimientos y documentos especiales
- tipo y alcance de las pruebas de carga
- descripción del terreno

Las especificaciones ISCHEBECK pueden ser fácilmente generadas con nuestro accesible sistema online, para después ser descargadas en formato de texto, tabla o tipos electrónicos más específicos (GAEB). Simplemente entre en <http://ischebeck.bauprofessor.de> y nuestros expertos estarán encantados de ayudarle.



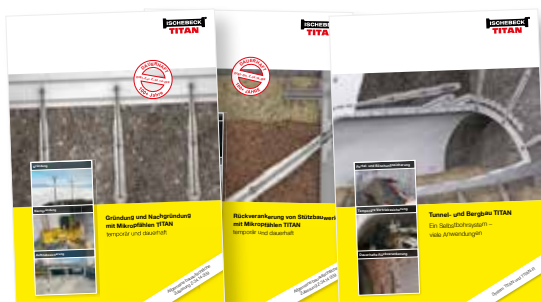
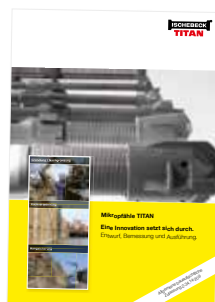


Desde cimentaciones y losas de subpresión, hasta anclajes en elementos de contención y estabilizaciones en túneles - el sistema TITAN tiene múltiples aplicaciones.



Puede encontrar información general y comprobaciones en nuestros catálogos de **micropilotes TITAN**.

Puede encontrar información sobre otras posibilidades de aplicación en los catálogos sobre **Cimentaciones y Recalces, Anclajes en elementos de contención así como Excavación de Túneles**. El catálogo **Variantes Estándar de Construcciones en Cabeza** proporciona mayor detalle sobre las disposiciones de esta parte del sistema.



Las fotos en este catálogo muestran momentos específicos de diversas obras. Es por tanto posible que los estados en ellas reproducidos no cumplan íntegramente todos los requerimientos técnicos o de seguridad.

Sistemas de encofrado



Sistemas de entibación



Geotecnia



Sistema de Gestión de la Calidad certificado DIN EN ISO 9001 / 2015



ISCHEBECK
IBÉRICA

ISCHEBECK
TITAN

Filial en España: ISCHEBECK IBÉRICA S.L.

Pol. Industrial "El Olival", Calle S, N° 25, ES-46394 RIBARROJA DEL TURIA / VALENCIA
Tel.: +34 96 166 60 43 | Fax +34 96 166 61 62
E-Mail: ischebeck@ischebeck.es | <http://www.ischebeck.es>

Casa Matriz: FRIEDR. ISCHEBECK GMBH

Gerentes: Dipl. Wi.-Ing. Björn Ischebeck, Dr. jur. Lars Ischebeck
Loher Str. 31 - 79 | DE-58256 Ennepetal | Tel. +49 (2333) 8305-0 | Fax +49 (2333) 8305-55
E-Mail: export@ischebeck.com | <http://www.ischebeck.com>